

江锋, 郑心茹, 周常义, 等. 罗伊氏乳杆菌对发酵鱼糜挥发性风味物质的影响 [J]. 食品工业科技, 2021, 42(12): 240-245. doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2020070234

JIANG Feng, ZHENG Xinru, ZHOU Changyi, et al. Effect of *Lactobacillus reuteri* on Volatile Flavor Compounds of Fermented Surimi[J]. Science and Technology of Food Industry, 2021, 42(12): 240-245. (in Chinese with English abstract). doi: 10.13386/j.issn1002-0306.2020070234

· 分析检测 ·

罗伊氏乳杆菌对发酵鱼糜挥发性 风味物质的影响

江 锋¹, 郑心茹², 周常义², 江晓颖¹, 林伟言¹, 刘 玉², 苏文金², 苏国成^{2*}

(1. 厦门中集信检测技术有限公司, 福建厦门 361100;

2. 集美大学食品与生物工程学院, 福建厦门 361021)

摘 要: 为研究乳酸菌发酵鱼糜产生挥发性物质的变化规律, 以发酵鱼糜为研究对象, 采用同时蒸馏萃取 (simultaneous distillation extraction, SDE) 法提取发酵鱼糜的挥发性风味物质, 结合气相色谱-质谱联用 (Gas Chromatograph-Mass Spectrometry, GC-MS) 技术, 比较了自然发酵和添加罗伊氏乳杆菌发酵两种方法, 对鱼糜发酵过程中的风味物质变化规律进行分析。结果表明: 罗伊氏乳杆菌法发酵的鱼糜检出 37 种挥发性物质, 带有明显风味特征的物质有乙酸、正己醛、1-辛烯-3-醇、乙酸乙酯等, 自然发酵鱼糜中检出 25 种挥发性物质, 其中乙酸、正己醛、1-辛烯-3-醇是主要的物质。罗伊氏乳杆菌法发酵鱼糜中酯类、酸类、烷烃类和醇类物质含量均高于自然发酵鱼糜, 在自然发酵鱼糜挥发性物质中含量分别占 1.20%、2.72%、1.56% 和 11.35%, 罗伊氏乳杆菌法发酵鱼糜中分别为 21.83%、14.86%、14.98% 和 16.37%, 乳酸菌法对发酵鱼糜的感官品质和风味有一定的改善作用。

关键词: 鱼糜, 发酵, 罗伊氏乳杆菌, 气相色谱-质谱法 (GC-MS), 挥发性风味物质

中图分类号: TS254.1

文献标识码: A

文章编号: 1002-0306(2021)12-0240-06

DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2020070234

Effect of *Lactobacillus reuteri* on Volatile Flavor Compounds of Fermented Surimi

JIANG Feng¹, ZHENG Xinru², ZHOU Changyi², JIANG Xiaoying¹, LIN Weiyan¹,

LIU Yu², SU Wenjin², SU Guocheng^{2*}

(1. Xiamen Zhongjixin Testing Co., Ltd., Xiamen 361100, China;

2. College of Food and Bioengineering, Jimei University, Xiamen 361021, China)

Abstract: In order to study the variation of volatile compounds in surimi fermented by lactic acid bacteria, the technology of extraction by simultaneous distillation extraction (SDE) and detection by gas chromatograph-mass spectrometry (GC-MS) of volatile flavor compounds from fermented surimi used as the research object was established. The two methods of natural fermentation and fermentation of surimi with *Lactobacillus reuteri* were compared, and the change of flavor substances in the process of fermented surimi was analyzed. The results showed that 37 kinds of volatile substances were detected in surimi fermented by *Lactobacillus* method, and the substances with obvious flavor characteristics were acetic acid, n-hexanal, 1-octene-3-ol, ethyl acetate, etc. And 25 kinds of volatile substances were detected in surimi fermented naturally, among which acetic acid, n-hexanal and 1-octene-3-ol were the main substances. The content of esters, acids, alkanes and alcohols in surimi fermented by *Lactobacillus reuteri* was higher than that in naturally fermented surimi, which accounted for 1.20%, 2.72%, 1.56% and 11.35% in naturally fermented surimi, while 21.83%, 14.86%, 14.98% and 16.37% in the fermented surimi by *Lactobacillus reuteri*, respectively. Lactic acid bacteria could improve the sensory quality and

收稿日期: 2020-07-21

基金项目: 福建省海洋与渔业厅科技项目闽海洋高新 [2015]23 号。

作者简介: 江锋 (1982-), 男, 本科, 工程师, 研究方向: 食品安全检测, E-mail: jiangfeng@zjxtest.com。

* 通信作者: 苏国成 (1962-), 男, 本科, 教授, 研究方向: 生物技术、食品安全, E-mail: amoluscin@163.com。

flavor of fermented surimi.

Key words: surimi; fermentation; *Lactobacillus reuteri*; gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS); volatile flavor compounds

发酵食品由来已久, 具有独特风味、丰富营养和耐保藏等特色, 是广受欢迎的食品^[1]。其中发酵水产品近年来逐渐受到关注, 应用生物发酵技术对传统鱼糜制品、鱼块、全鱼等进行了广泛研究。国内外学者研究发现在鱼糜制作过程中添加有益微生物, 不仅能抑制葡萄球菌、假单胞菌等杂菌的生长, 减少生物胺的积累, 还能增强鱼糜制品的凝胶强度, 碳水化合物与脂肪降解后产生的有机酸、醇、酮等化合物可以去除鱼肉的土腥味, 赋予鱼糜制品特殊的发酵香气^[2-3]。

目前国内外对食品中挥发性成分的研究常采用同时蒸馏萃取(simultaneous distillation extraction, SDE)、溶剂萃取、固相微萃取(solid-phase microextraction, SPME)、超临界萃取等提取技术及气相色谱、气相色谱-质谱联用(Gas Chromatograph-Mass Spectrometry, GC-MS)、飞行时间质谱(TOFMS)、电子鼻等分析鉴定技术^[4]。SDE法利用相似相溶原理, 对挥发物进行富集。龙斌等^[5]采用SDE法对样品中挥发性风味成分进行提取, 从川鲶腹肉和背肉中分别检测出67和45种挥发性风味成分。Forehand等^[6]采用SDE法提取豆酱中挥发性物质, 用DB-wax色谱柱进行洗脱分离, 鉴定出了91种挥发性物质。Kesen等^[7]采用蒸馏萃取法提取橄榄油中挥发性物质, 用二氯甲烷做溶剂, 并用DB-wax色谱柱进行芳香物质的分离, 每种样品分离鉴定出12~14种主要的芳香成分。刘佳等^[8]采用固相微萃取对鲜牡蛎肌肉风味化合物进行了浓缩, 并用HP-5MS弹性毛细管色谱柱进行风味物质的分离, 检出了24种呈味物质, 主要是醛类、酸类、醇类、烯类等化合物。

本研究采用筛选出的适宜鱼糜发酵的优良菌株接种到鱼糜中进行发酵, 探索其产生风味物质的变化规律。根据前期的实验基础, 利用已分离筛选具有降解亚硝酸盐能力的罗伊氏乳杆菌^[9], 加入到鱼糜中制作发酵鱼糜, 采用SDE法结合GC-MS技术检测发酵鱼糜的挥发性风味物质, 比较自然发酵鱼糜与罗伊氏乳杆菌法加工发酵鱼糜的风味物质变化, 以期为开发新型发酵鱼糜制品提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 材料与仪器

金线鱼鱼糜 AAA级, 福建泉州龙富港水产品有限公司; 罗伊氏乳杆菌 R6 本实验室分离保存菌株; MRS 固(液)体培养基 广东环凯生物科技有限公司; 乙醚 优级纯, 国药集团; Na₂SO₄ 分析纯, 国药集团。

PHX150 生化培养箱 宁波莱福科技有限公司; Bag Mixer 400VW 均质器 法国 INTERSCIENCE

公司; TP-1102/214 电子分析天平、PB-10 pH 计 德国赛多利斯公司; 500 mL 同时蒸馏萃取设备 厦门市集美区仕富玻璃厂; Varian320-MS 气相色谱-质谱联用仪 美国 Varian 公司; OA-SYS 氮吹仪 美国 Organomation 公司; RE-52AA 旋转蒸发仪 上海亚荣生化仪器厂。

1.2 实验方法

1.2.1 样品制备 自然发酵鱼糜: 将冷冻鱼糜解冻后, 将水分调整为 80%, 空插 5 min, 按鱼糜质量添加 3% 食盐和适量淀粉, 继续插溃 10 min。插溃过程中控制鱼糜样品温度不超过 10 °C^[10-11]。30 °C 放置 30 h, 45 °C 水浴 1 h 后转移至 90 °C 水浴 20 min, 加热完成后立即置于冰水浴中冷却, 在 4 °C 冰箱冷藏过夜。

乳酸菌法发酵鱼糜^[9,12]: 以罗伊氏乳杆菌 R6 为发酵剂, 在食盐插溃前按 1% 的接种量接种菌株 R6(10⁸ CFU/mL), 其余步骤与自然发酵法相同。

1.2.2 挥发性风味物质的富集 在 SDE 装置右侧的烧瓶中加入称取 10 g 已发酵样品, 加入 200 mL 蒸馏水。在 SDE 装置左侧的烧瓶中加入重蒸后的乙醚 50 mL。打开冷却水, 将电热套设置为 110 V, 加热试样烧瓶; 将水浴温度设定为 50 °C 以加热溶剂瓶, 当两边稍微煮沸时, 提取 2 h。提取完成后, 首先关闭电热套和水浴的电源, 等待冷却, 然后关闭冷却水。冷却后, 收集 U 形管中的溶剂并合并到含溶剂的蒸馏瓶中。提取完成后, 将 200 mL 蒸馏水加入到样品瓶中, 并将 50 mL 再蒸发的乙醚加入到溶剂瓶中, 然后根据上述用于添加样品的提取方法进行 30 min 的提取。向合并的提取物中加入适量的无水 Na₂SO₄, 在冰箱中冷冻过夜并过滤。将提取物在减压下蒸馏至 5 mL, 然后用氮吹仪将氮气吹至 0.5 mL。过膜装入小瓶中, 并通过气相色谱-质谱法分析浓缩物^[13]。

1.2.3 GC-MS 分析方法 色谱和质谱条件根据参考文献和预实验条件进一步优化^[7,13]。

色谱条件: 色谱柱使用 VF-17ms 毛细管柱(30 m, 0.25 mm, 0.25 μm); 入口温度: 250 °C; 升温步骤: 在 35 °C 保持 1 min, 以 5 °C/min 升温至 60 °C 保持 1 min, 6 °C/min 升温至 140 °C 保持 1 min, 最后 8 °C/min 升温至 230 °C 保持 5 min; 载气: 氮气; 流速 1.0 mL/min; 恒速, 分流比 1:20。

质谱条件: 离子源温度: 200 °C, 电子能量 70 eV, 质量扫描范围 35~350 m/z, 无溶剂去除时间。

1.3 数据处理

数据处理和质谱检索: 通过质谱仪工作站, 运用

NIST 谱库检索人工比对对 GC-MS 采集得到的质谱数据进行检索。通过面积归一化法分析每个组分的相对含量。显著性水平设为 $P < 0.05$ 。

2 结果与分析

2.1 发酵鱼糜的挥发性物质总离子流图

采用同时蒸馏萃取法分离,提取和浓缩各样品中挥发性物质,并结合 GC-MS 检测法在上述条件下分析自然发酵鱼糜和乳酸菌法发酵鱼糜的风味物质变化。图 1 和图 2 显示了两种发酵方式鱼糜样品的总离子色色谱图。乳酸菌法发酵鱼糜的总离子强度比自然发酵鱼糜的总离子强度高,而且产生的物质相对更多。

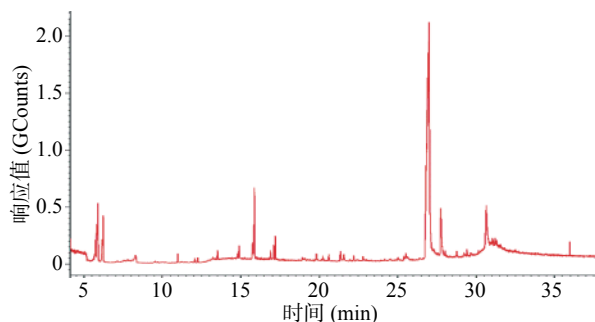


图 1 自然发酵鱼糜总离子流色谱图

Fig.1 Total ion flow diagram of naturally fermented surimi

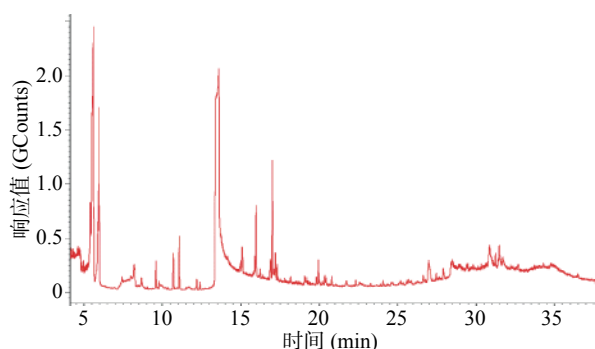


图 2 乳酸菌发酵鱼糜总离子流色谱图

Fig.2 Total ion flow diagram of fermented surimi by lactic acid bacteria

2.2 不同方式发酵后鱼糜风味物质含量和分析

搜索数据库分析,取大于 80% 以上相似度的挥发性风味物质鉴定出样品鱼的不同挥发性成分,结果见表 1 和图 3。可以看出,发酵鱼糜的主要挥发性成分中的 51 个组分是饱和或不饱和的醛类、酯类、醇类、烃类和其他物质。在乳酸菌法发酵鱼糜中检测到 37 种挥发性化合物,在自然发酵鱼糜中检测到 25 种挥发性物质。这两种不同的发酵方式在主要呈味成分种类以及含量方面有一定的区别。乳酸菌法加工发酵鱼糜中醛类、醇类的数量较多,相对含量较高,这与自然发酵方法的样品有所区别,也许与乳酸菌的蛋白酶和脂肪酶加速蛋白质和脂肪的分解,产生大量的游离氨基酸和脂肪酸,并形成独特的挥发性物质有关^[14-17]。

我国已批准罗伊氏乳杆菌可作为人类保健品的微生物菌种,该菌具有很高的理论研究和生产应用价值^[16]。在动物饲料、食品等方面有较多关于罗伊氏乳杆菌应用的研究报道,添加罗伊氏乳杆菌对于产品的感官、风味、品质的提升有一定作用^[17-18]。

本研究中比较了罗伊氏乳杆菌发酵鱼糜与自然发酵鱼糜中挥发性风味物质的区别,在两种发酵鱼糜中,罗伊氏乳杆菌法发酵鱼糜挥发性物质中酯类、酸类和烷烃类物质含量明显高于自然发酵鱼糜,含量分别是自然发酵鱼糜中占挥发性物质的 1.20% 和 2.72% 和 1.56%,乳酸菌发酵鱼糜中占挥发性物质的 21.83%、14.86% 和 14.98%;罗伊氏乳杆菌法发酵鱼糜中醇类稍高于自然发酵鱼糜,分别为 16.37% 和 11.35%;自然发酵鱼糜的酮类和醛类略高于罗伊氏乳杆菌法发酵鱼糜,前者的酮类和醛类分别为 4.51% 和 15.93%,后者分别为 1.69% 和 11.69%。

近年来,在发酵酸鱼方面有一系列研究报道,例如 Xu 等^[14]采用植物乳杆菌、木糖葡萄糖球菌和酿酒酵母混合菌发酵酸鱼,发现在发酵过程中,醛类、酸类、醇类、酯类、酮类的含量在不断增加。Zang 等人^[15]在低盐酸鱼发酵方面的研究表明,添加的菌种对产生磷脂分子种类有影响,其中接种了酿酒酵母和混合发酵剂的酸鱼,产生的磷脂分子比未添加酿酒酵母多。臧金红^[19]采用混合接种对鲤鱼进行发酵,筛选出 9 中酸鱼特征风味物质,分别为乳酸乙酯、十六酸乙酯、苯甲醛和异戊酸等化合物,发现这些物质与关键微生物的演替有关。这些研究表明发酵产品风味的形成与所添加的菌种有相关性,这与本研究的结果相似。

2.2.1 酯类化合物 酯类化合物是常见的挥发性风味成分,由于较低的气味阈值,检出酯类可以赋予制品果香味^[20]。本研究中,乳酸菌发酵鱼糜相对于自然发酵的鱼糜酯类的含量大幅度提高,风味明显优于传统发酵鱼糜。其中在乳酸菌发酵鱼糜中含量较高的乙酸乙酯、乙烯乙酯、甲酸乙酯、异戊酸乙酯等在自然发酵的鱼糜中均未检出,其中乙烯乙酯的含量达 10.24%。

高沛^[21]研究微生物与酸鱼中挥发性物质的关系,比较了植物乳杆菌、木糖葡萄糖球菌和酿酒酵母单一菌株分别接种鱼体发酵和自然发酵的方法,结果表明,接种乳酸杆菌组的脂类物质含量最高,乙酸乙酯、乙酸-3-甲基丁酯、己酸乙酯等是酸鱼的关键气味成分。与本研究中乳酸菌发酵鱼糜的脂类物质大量增加有类似情况。

2.2.2 酸类化合物 在传统的发酵鱼肉肠中,酸类物质含量很低,碳原子数小于六的为短链的脂肪酸,它具有强烈的酸度和香气,对风味影响很大^[22]。低价值的鱼肉酸味和奶酪味道主要是由于这些酸的增加。它们除了主要来源于氨基酸的代谢,还可能来自碳水化合物的分解。吴海燕等^[23]在研究发酵剂对咸鱼的

表 1 发酵鱼糜挥发性成分的 GC-MS 分析结果
Table 1 GC-MS analysis of volatile components from fermented surimi

化合物名称	自然发酵鱼糜		乳酸菌法发酵鱼糜	
	保留时间(min)	相对含量(%)	保留时间(min)	相对含量(%)
1-戊烯-3-醇	ND	ND	8.7	0.28
4-甲基-1-戊烯-3-醇	11.16	0.79	ND	ND
1-辛烯-3-醇	12.50	3.69	13.53	3.28
正己醇	ND	ND	8.68	5.16
异十三醇	ND	ND	26.84	0.63
环十二醇	ND	ND	31.25	3.47
1-辛烯-4-醇	13.53	2.08	14.63	1.77
3-甲基-2-丁醇	6.56	0.63	ND	ND
2-戊醇	10.16	0.79	ND	ND
3-十六醇	33.20	1.86	ND	ND
2-己基-1-正癸醇	24.56	0.36	25.37	0.39
2,4-二甲基环己醇	ND	ND	12.87	0.53
3-甲基-1-丁醇	5.27	1.15	5.58	0.86
醇类合计		11.35		16.37
2-十二烯醛	ND	ND	23.16	0.28
反-2-十二烯醛	20.16	0.72	21.94	0.57
正己醛	6.15	13.53	6.42	8.16
十八醛	30.16	0.19	32.18	0.36
4-乙基苯甲醛	16.04	0.22	16.32	0.23
十六醛	ND	ND	30.32	0.23
苯甲醛	11.75	1.27	ND	ND
3-甲基正丁醛	ND	ND	3.80	1.36
醛类合计		15.93		11.19
2-辛酮	ND	ND	12.16	1.52
2-甲基-3-戊酮	3.68	3.74	ND	ND
2-庚酮	8.74	0.77	ND	ND
2-癸酮	ND	ND	16.56	0.17
酮类合计		4.51		1.69
乙酸	2.17	0.50	2.99	0.67
十八酸	33.05	0.26	ND	ND
2,5-二甲基苯磺酸	ND	ND	8.36	1.75
油酸	31.47	1.96	30.78	2.85
2-乙基丁酸	ND	ND	9.49	2.87
硫代乙酸	ND	ND	2.69	6.72
酸类合计		2.72		14.86
乙酸乙酯	ND	ND	15.64	2.45
2-乙基丁酸-1,2,3-甘油三酯	17.19	0.86	17.56	0.59
邻苯二甲酸二丁酯	ND	ND	33.17	2.17
乙烯乙酯	ND	ND	2.45	10.24
月桂酸乙酯	29.79	0.34	ND	ND
4-十六烷基二氯乙酸酯	ND	ND	21.37	0.07
甲酸乙酯	ND	ND	8.67	2.74
异戊酸乙酯	ND	ND	9.18	3.57
酯类合计		1.20		21.83
1-氯庚烷	7.23	0.92	ND	ND
2,3,5,8-四甲基癸烷	ND	ND	16.52	0.33
十二甲基环己硅氧烷	ND	ND	14.58	0.19
十一基环己烷	ND	ND	20.55	0.56
2-氟丙烷	ND	ND	1.41	6.37
2-甲基十二烷	27.55	0.17	ND	ND
八甲基环四硅氧烷	ND	ND	10.76	6.89
十五烷	ND	ND	23.67	0.25

续表 1

化合物名称	自然发酵鱼糜		乳酸菌法发酵鱼糜	
	保留时间(min)	相对含量(%)	保留时间(min)	相对含量(%)
1-氯-5-甲基己烷	ND	ND	5.68	0.39
1-氯-正己烷	5.32	0.47	ND	ND
2,4-二甲基-1-庚烯	6.52	0.75	ND	ND
3,5,5-三甲基-2-己烯	10.25	2.84	ND	ND
烷烃、烯烃合计		5.15		14.98

注: ND表示未检出。

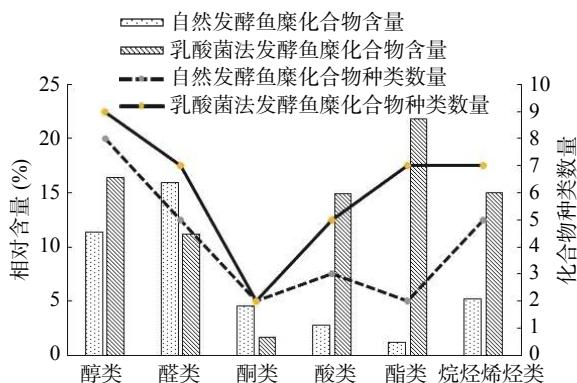


图3 发酵鱼糜中挥发性化合物的种类及相对含量

Fig.3 Composition and relative content of compound classes in fermented surimi

影响发现乙酸、丁酸、异丁酸和戊酸的浓度随着发酵时间的增加而逐渐增加。在本研究中,自然发酵鱼糜的乳酸菌发酵的鱼糜中酸类物质含量分别为 2.72% 和 14.86%,可见酸类物质显著提高,乳酸菌发酵鱼糜中乙酸、2-乙基丁酸、硫代乙酸含量明显高于自然发酵鱼糜,乳酸菌发酵鱼糜的酸味和奶酪味明显优于自然发酵鱼糜,这也许是因为罗伊氏乳杆菌为异型乳酸发酵,而且在代谢过程中,产生乳酸、乙酸等不同酸类物质,同时与乳酸菌分解蛋白质,产生多种代谢产物有关系。

2.2.3 醇类化合物 在本研究中检出正己醇、1-辛烯-3-醇、1-辛烯-4-醇、1-辛烯-3-醇、1-戊烯-3-醇等醇类化合物,为主要的风味物质。自然发酵鱼糜中检出 4-甲基-1-戊烯-3-醇、3-甲基-2-丁醇、2-戊醇、3-十六醇,而乳酸菌法发酵鱼糜中未检出这些物质;乳酸菌法发酵鱼糜中检出 1-戊烯-3-醇、正己醇、异十三醇、环十二醇,但在自然发酵鱼糜中未检出这些物质。乳酸菌法发酵鱼糜中 1-辛烯-3-醇、1-辛烯-4-醇、3-甲基-1-丁醇的含量低于自然发酵鱼糜。醇类的分子结构会影响其香气强度、特征和类型。低级脂肪醇指 7 个碳原子以内的醇,一般没有什么特殊的香气,当碳原子数增加到 12 时,呈现出比较特别的香气,但当醇的碳原子数高于 12 时香气又会消失不见^[21]。1-辛烯-3-醇对发酵样品中的醇类对肉类风味的形成有一定作用,具有蘑菇香气和类似的金属味,是日本 fish miso 和臭鲑鱼的关键风味之一^[24-25]。有研究认为 1-辛烯-3-醇与鲜鱼的腥味有关^[19],本研究中通过添加罗伊氏

菌发酵,该物质含量降低,鱼腥味有一定减缓作用。1-戊烯-3-醇香气特征是果香和蔬菜香^[21]。罗伊氏乳杆菌发酵生产醇类物质的来源除了与碳水化合物分解有关外,还可能通过脂类代谢途径产生^[26]。

2.2.4 醛酮类物质 本研究中两种发酵鱼糜中,自然发酵法中挥发性物质醛类和酮类物质均高于乳酸菌发酵鱼糜,其中,正己醛含量分别为 13.53% 和 8.16%,2-甲基-3-戊酮含量分别为 3.74% 和未检出。醛类的阈值较低,赋予食物清香和果香的芳香特质,其风味取决于醛的浓度。鱼的主要挥发性风味化合物是羰基化合物。N-己醛在淡水鱼和海水鱼中均有,具有青草味,它通常与 C8-挥发性化合物混合并有助于鱼的香气^[27]。在发酵过程中,醛类化合物可以通过脂质过氧化或降解产生,也可以通过氨基酸降解或醛酸途径产生。本研究中两种发酵鱼糜均检出的具有青草味的是正己醛,且含量相对较高;自然发酵鱼糜中检出苯甲醛,有特殊的杏仁气味,这些物质对于产品的风味有一定作用。酮类物质通常是脂肪氧化和美拉德反应的产物,酮类物质具有清香味、奶油味和果香味。酮类物质阈值一般比醛类物质高,本研究中检测出的酮类物质含量和种类均较少,推测对发酵鱼糜气味的贡献较小。

2.2.5 其他化合物 烃类化合物主要来源于脂肪酸烷氧自由基的均裂^[28],有学者认为对鱼露的溶剂味有贡献的是一些烷基苯和支链烷基^[22]。在本研究中检测到的一定含量烷烃,由于烷烃的阈值较高^[29],预计这些物质对产品整体风味贡献不大的。

3 结论

通过比较不同方法发酵鱼糜的风味物质发现,醛类、醇类和酮类是构成发酵鱼糜独特风味的主要成分。本研究添加罗伊氏乳杆菌发酵的鱼糜中检测到总共 37 种具有不同风味特征的物质,主要特征物质有乙酸、正己醛、1-辛烯-3-醇和乙酸乙酯等。自然发酵鱼糜中共检出 25 种挥发性物质。罗伊氏乳杆菌法发酵鱼糜中酯类、酸类、烷烃类和醇类物质含量均高于自然发酵鱼糜。乳酸菌法发酵鱼糜提高了鱼肉感官品质,产品具有特殊的风味,因此采取乳酸菌法发酵鱼糜的加工方法不仅有利于缩短加工时间,而且增强产品的独特风味,使产品质量明显提高。

在挥发性物质萃取方面,本研究采用 SDE 法,后续研究可考虑采用 HS-SPME 或其他方法进行萃

取;在检测设备方面,本研究采用 GC-MS 方法,今后可结合 GC-O、电子鼻等设备,更全面分析发酵鱼糜中挥发性物质;在研究方法方面,可结合代谢组学方法研究其代谢通路,以更全面了解发酵鱼糜的挥发性化合物的产生机制。

参考文献

- [1] 刘素纯,刘书亮,秦礼康. 发酵食品工艺学[M]. 化学工业出版社,2019: 1-6.
- [2] Semjonovs P, Patetko A, Grube M, et al. Application of *Bifidobacterium lactis* as the single strain probiotic starter culture for fermentation of salmon (*Salmo salar*) mince[J]. *Current Nutrition & Food Science*, 2016, 12(1): 28-34.
- [3] 密更,李婷婷,仪淑敏,等. 人工接种乳酸菌发酵鱼糜的研究进展[J]. *中国食品学报*, 2019, 19(5): 302-312.
- [4] 葛敏敏,王建华,王颖. 水产品挥发性成分研究进展[J]. *化学分析计量*, 2018, 27(2): 122-125.
- [5] 龙斌,王锡昌,张凤桦,等. 川鳊挥发性风味成分和脂肪酸分析[J]. *食品科学*, 2013(22): 250-256.
- [6] Forehand J B, Dooly G L, Moldoveanu S C. Analysis of polycyclic aromatic hydrocarbons, phenols and aromatic amines in particulate phase cigarette smoke using simultaneous distillation and extraction as a sole sample clean-up step[J]. *Journal of Chromatography A*, 2000, 898(1): 111-124.
- [7] Kesen S, Kelebek H, Selli S. Characterization of potent odorant compounds in Turkish olive oils by GC-MS-olfactometric techniques[J]. *International Journal of Food Studies*, 2014, 3(2): 120-125.
- [8] 刘佳,陆宝庭,肖淑玉. 四种海洋贝类肌肉中风味物质的分析与评价[J]. *环境与健康杂志*, 2008(7): 633-634.
- [9] 刘玉,郑心茹,林伟言,等. 降解亚硝酸盐乳酸菌的筛选及其在发酵鱼糜中的初步应用[J]. *中国酿造*, 2019, 38(2): 66-72.
- [10] 章银良. 均匀试验设计在腌鱼工艺优化中的应用[J]. *食品科技*, 2008, 33(9): 75-78.
- [11] Feng J H, Cao A L, Cai L Y, et al. Effects of partial substitution of NaCl on gel properties of fish myofibrillar protein during heating treatment mediated by microbial transglutaminase [J]. *Lwt-Food Science and Technology*, 2018, 93: 1-8.
- [12] 张弦. 复合乳酸菌发酵鱼肉香肠的工艺及品质研究[D]. 厦门:集美大学,2016.
- [13] 陈美霞,陈学森,周杰. 蒸馏-萃取法与溶剂萃取法提取杏果实香气成分的比较[J]. *分析实验室*, 2005(3): 65-70.
- [14] Xu Y S, Xie Y Y, Xia W S, et al. Lipid fraction and fatty acid profile changes in low-salt fermented fish as affected by processing stage and inoculation of autochthonous starter cultures[J]. *LWT-Food Science and Technology*, 2018, 97: 289-294.
- [15] Zang J H, Xu Y S, Xia W S, et al. Phospholipid molecular species composition of Chinese traditional low-salt fermented fish inoculated with different starter cultures[J]. *Food Research International*, 2018, 111: 87-96.
- [16] 庞洁,周娜,刘鹏,等. 罗伊氏乳杆菌的益生功能[J]. *中国生物工程杂志*, 2011, 31(5): 131-137.
- [17] 温夏萍,王呈,弓耀忠. 罗伊氏乳杆菌发酵对酸乳营养价值的影响[J]. *中国奶牛*, 2019(5): 41-44.
- [18] Sonia G, Natalia G T, David D, et al. Influence of reuterin-producing *Lactobacillus reuteri* coupled with glycerol on biochemical, physical and sensory properties of semi-hard ewe milk cheese[J]. *Food Research International*, 2016(90): 177-185.
- [19] 臧金红. 酸鱼发酵过程中特征风味形成与微生物的关系研究[D]. 无锡:江南大学,2020.
- [20] Liu S Q, Holland R, Crow V L. Esters and their biosynthesis in fermented dairy products: A review[J]. *International Dairy Journal*, 2004, 14(11): 923-945.
- [21] 高沛. 酸鱼发酵过程中微生物的产酯增香机制研究[D]. 无锡:江南大学,2017.
- [22] 张晓鸣主编. 食品风味化学[M]. 中国轻工业出版社,2018.
- [23] 吴海燕,杨磊,李思东,等. 复合发酵剂对咸鱼风味品质的影响[J]. *广州化工*, 2010, 38(6): 73-77.
- [24] Giri A, Osako K, Ohshima T. Identification and characterisation of headspace volatiles of fish miso, a Japanese fish meat based fermented paste, with special emphasis on effect of fish species and meat washing[J]. *Food Chemistry*, 2010, 120(2): 621-631.
- [25] Frank D, Poole S, Kirchoff S, et al. Investigation of sensory and volatile characteristics of farmed and wild Barramundi (*Lates calcarifer*) using gas chromatography-olfactometry mass spectrometry and descriptive sensory analysis[J]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2009, 57(21): 10302-10312.
- [26] 马媛,耿伟涛,王金菊,等. 乳酸菌代谢与食品风味物质的形成[J]. *中国调味品*, 2019, 44(1): 159-163, 172.
- [27] 马永强,韩春然,刘静波. 食品感官检验[M]. 北京:化学工业出版社,2005: 1-241.
- [28] 贡慧,杨震,刘梦,等. 秋刀鱼热加工后挥发性风味成分变化的分析[J]. *肉类研究*, 2017, 31(1): 25-31.
- [29] Moretti V M, Vasconi M, Caprino F, et al. Fatty acid profiles and volatile compounds formation during processing and ripening of a traditional salted dry fish product[J]. *Journal of Food Processing and Preservation*, 2017, 41(5): e13133.